

Résumé

Cette étude compare deux méthodes d'évaluation de l'efficacité de *Cephalonomia stephanoderis* Betrem pour la lutte biologique contre le scolyte des baies du caféier. La première se distingue par des lâchers de quantités fixes de parasitoïdes. Les résultats sont définis par les différences entre les taux d'infestation de scolytes sur la nouvelle fructification récemment colonisée (analyse de variance). La seconde méthode se caractérise par des quantités de parasitoïdes lâchées proportionnelles à celles des fruits attaqués hébergeant le ravageur.

L'absence de relation quantitative entre les populations initiales de scolytes et les lâchers de parasitoïdes, ainsi que la faible précision de l'estimation des niveaux d'infestation finaux, font que la première méthode ne donne aucun résultat tangible. La seconde méthode présente une relation bien définie entre les quantités de parasitoïdes lâchés et de fruits infestés par parcelle, et donne une meilleure précision de l'estimation des niveaux d'infestation du ravageur. Dans ces conditions, la mise en évidence et la mesure de l'efficacité de la lutte biologique est possible.

Resumen

Este estudio compara dos métodos de evaluación de la eficacia de *Cephalonomia stephanoderis* Betrem para el control biológico de la broca del café. La primera se distingue por liberaciones de cantidades fijas de parasitoïdes. Los resultados se definen mediante las diferencias entre las tasas de infestación de la broca sobre la nueva fructificación recientemente colonizada (análisis de varianza). El segundo método se caracteriza por cantidades de parasitoïdes liberadas proporcionales a las de los frutos perforados, albergando la plaga.

La ausencia de relación cuantitativa entre las poblaciones iniciales de broca y las liberaciones de parasitoïdes, así como la baja precisión de la estimación de los niveles de infestación finales, hacen que el primer método no das ningún resultado tangible. El segundo método presenta una relación claramente definida entre las cantidades de parasitoïdes liberados y los frutos infestados por parcela, y da una mejor precisión de la estimación de los niveles de infestación de la plaga. En estas condiciones, la determinación de la eficacia del control biológico resulta posible.

Abstract

This study compares two methods of assessing the effectiveness of *Cephalonomia stephanoderis* Betrem in the control of the coffee berry borer "(CBB)". The first method involves releases of fixed quantities of parasitoids. The results are expressed as the differences between the CBB infestation rate on recently colonized new fruits (analysis of variance). The second is characterized by quantities of released parasitoids that are proportional to those of attacked fruits harbouring the pest.

An absence of any quantitative relation between the initial CBB populations and the parasitoid releases, along with the limited accuracy of final infestation level estimates, meant that the first method gave no tangible results. The second method revealed a clear relation between the quantities of parasitoids released and the fruits infested per plot, with more accurate estimates of pest infestation levels. Under these conditions, it was possible to detect and measure the effectiveness of biological control.

Lutte biologique contre le scolyte des baies du caféier en période de post récolte : méthodes d'évaluation

Dufour B.¹, Calderon S.² Bernadette L.³, Aragon F.⁴

¹ CIRAD-CP/IICA-PROMECAFE/PROCAFE, Final 1a Avenida Norte Apdo 23, Santa Tecla, Salvador

² MIP-CATIE, Apdo, 4830, Managua, Nicaragua

³ 31, rue A. de Musset, 81200 Aussillon, France

⁴ UNICAFE, CECF, Masatepe, Nicaragua

Après plusieurs années de recherches sur la lutte biologique contre le scolyte des baies du caféier avec le parasitoïde d'origine africaine : *Cephalonomia stephanoderis* Betrem, il a été démontré que les lâchers inoculatifs de ce parasitoïde, dans la plupart des pays producteurs de café d'Amérique centrale, étaient totalement inefficaces, ne permettant seulement qu'une simple survie de l'espèce dans son nouveau milieu (Infante *et al.*, 1992). En revanche, les lâchers inondatifs semblent assurer un certain niveau de contrôle des populations de scolytes, avec une efficacité qui n'a pas encore été définie de manière précise. Pour le caféiculteur, les quantités à lâcher et l'efficacité qui en résulte sont des données indispensables pour juger de l'intérêt de la poursuite de ce type d'action, tout au moins dans son développement technologique actuel. La première expérience connue fait

état de réductions d'infestations de scolytes oscillant entre 22 et 56 % pour des lâchers de 35 000 à 40 000 parasitoïdes par ha (Barrera Gaytan, 1994). Une baisse d'infestation de 53 % en moyenne, a été obtenue par ailleurs sur de jeunes fructifications, 5 mois après avoir effectué des lâchers de parasitoïdes à raison d'un adulte pour 4 à 5 fruits attaqués. Il convient de préciser que ce dernier résultat a été obtenu à l'aide de la deuxième méthode décrite dans cette étude (Dufour *et al.*, 1995). Pour le reste, il s'agit principalement de résultats d'observations dont l'interprétation dépend bien souvent de l'intérêt que manifestent les protagonistes de la lutte biologique et les utilisateurs d'entomophages.

Ce travail, réalisé dans le cadre d'un programme de recherches sur la lutte biologique avec *C. stephanoderis*, porte sur la comparaison de 2 méthodes d'évaluation de

l'effet des lâchers inondatifs sur des populations de scolytes, en période d'inter-fructification. Le choix de cette période se justifie par la présence de populations résiduelles de scolytes, normalement réduites sous l'effet de la récolte, et qu'il est possible de combattre avec des quantités de parasitoïdes tout aussi réduites (Dufour *et al.*, 1995). Il convient de préciser, par ailleurs, que les populations présentent généralement une structure adéquate pour le parasitisme, et qu'au niveau de la stratégie de la lutte, il est mieux d'intervenir avant que le scolyte ne migre vers les nouvelles fructifications, sur lesquelles il causerait des dommages. La principale difficulté est d'atteindre une précision suffisante dans l'évaluation de l'efficacité sachant qu'elle ne s'effectue pas directement sur les populations résiduelles de scolytes, mais sur les populations de fondatrices, au moment de la colonisation des nouveaux fruits.

Matériel et méthodes

Conditions expérimentales

Les 2 méthodes ont été expérimentées durant 2 années consécutives, dans 4 plantations de caféiers situées dans la région de Matagalpa au Nicaragua : « La Soana », « San Martín » et « San José » en 1993 (Dufour *et al.*, 1994) pour la première méthode, « Santa Emilia » en 1994 pour la seconde (Dufour *et al.*, 1995). Les données climatologiques ont été enregistrées par la station météorologique de Jinotega, située à plus de 20 km des sites expérimentaux. Les conditions agroécologiques et les dispositifs expérimentaux sont présentés dans le tableau 1.

Production de *C. stephanoderis*

Afin d'assurer des lâchers réguliers sur une période limitée dans le temps, les élevages de *C. stephanoderis* ont été renforcés, notamment dans le cas de l'exécution de la 2^e méthode. Les parasitoïdes recueillis après leur émergence (photo 1), sont regroupés par lots de 100, dans des tubes de verre dont l'orifice est recouvert d'un tulle de maille fine (photo 2). Ces insectes sont alors nourris avec un mélange de miel et d'eau appliqué sur le tulle, en attendant leur dispersion dans les parcelles expérimentales.

Méthodes de lutte

La 1^{ère} méthode

L'hypothèse de départ correspond à l'idée exprimée par les premiers utilisateurs de la

lutte biologique avec *C. stephanoderis* : les lâchers massifs de parasitoïdes, grâce à l'effet conjugué d'activités parasitaires et prédatrices, peuvent réduire sensiblement

les populations résiduelles de scolytes, indépendamment de leur niveau d'infestation, avec une intensité plus ou moins proportionnelle aux quantités initiales de parasitoïdes.



Photo 1. Cage d'émergence.
Cajas de emergencia.



Photo 2. Préparation des adultes de *C. stephanoderis* en vue de leur lâcher.
Preparación de adultos de *C. stephanoderis* antes de liberación.

Tableau 1. Conditions agroécologiques et dispositifs expérimentaux.
Condiciones agroecológicas y dispositivos experimentales.

	1 ^{re} méthode/ 1 ^{er} método	2 ^e méthode/ 2 ^o método
Sites (plantations) <i>Sitios (plantaciones)</i>	« La Soana », « San Martín » et « San José »	« Santa Emilia »
Caractéristiques agroécologiques / Características agroecológicas		
- altitude (m) / <i>altitud (m)</i>	840 - 1000	750
- topographie : pentes <i>topografía: declives</i>	faibles à fortes <i>bajas a fuertes</i>	faibles à moyennes <i>bajas a medias</i>
- ombrage (avant taille)* <i>sombria (antes de su regulación)</i>	15 - 40 %	20 - 40 %
- variété de caféier / <i>variedad de café</i>	Caturra	Caturra
- âge des plants (ans) <i>edad de las plantas (años)</i>	14	18
- homogénéité des parcelles <i>homogeneidad de las parcelas</i>	médiocre à moyenne <i>mediocre a medio</i>	médiocre à moyenne <i>mediocre a medio</i>
Conduite de la culture / Manejo del cultivo		
- niveau de technicité <i>nivel de tecnicidad</i>	moyen <i>medio</i>	moyen <i>medio</i>
- lutte chimique (scolytes) <i>control químico (brocas)</i>	néant (année en cours) <i>nada (año pendiente)</i>	néant (année en cours) <i>nada (año pendiente)</i>
- récolte sanitaire <i>cosecha sanitaria</i>	incomplète <i>incompleto</i>	incomplète <i>incompleto</i>
Dispositif expérimental / diseño experimental		
- type <i>tipo</i>	en blocs : considéré comme aléatoire en l'absence d'effet « bloc » visible - 3 traitements : lâcher de 1000, 5000 et 10000 parasitoïdes - 3 répétitions en bloques : considerado como aleatorio en ausencia de efecto "bloque" visible - 3 tratamientos: liberación de 1000, 5000 y 10.000 parasitoides - 3 repeticiones	aléatoire pour les traitements seulement; témoins très isolés des traitements - 2 traitements : lâcher de 1 parasitoïde pour 4 fruits attaqués et de 1 pour 5. - répétitions inégales Aleatorio para los tratamientos solamente : testigos muy aislados de los tratamientos - 2 tratamientos: liberación de 1 parasitoide para 4 frutos atacados y de 1 para 5 - repeticiones desiguales
- taille des parcelles (ha) <i>tamaño de las parcelas (ha)</i>	0,50	0,36
- stratification horizontale <i>estratificación horizontal</i>	20 sous-parcelles <i>20 subparcelas</i>	20 sous-parcelles <i>20 subparcelas</i>
- distance entre parcelles (m) <i>distancia entre parcelas (m)</i>	50 (minimum) <i>50 (mínimo)</i>	50 (minimum) <i>50 (mínimo)</i>

* Espèce dominante : Inga sp. / * *Espécie dominante : Inga sp.*

Le niveau d'infestation initial est un paramètre descriptif. Il détermine seulement la faisabilité de l'essai. Il est défini par le pourcentage de fruits résiduels scolytés présents sur les caféiers (Pr1) et le pourcentage au sol (Ps1). La structure des populations initiales de scolytes est aussi un paramètre descriptif qui permet de déterminer la moyenne de scolytes pour 100 fruits et la proportion des différents stades de développement. Le niveau d'infestation final est représenté soit par le taux d'attaque (fruits perforés) sur la nouvelle fructification (Pr2), soit par le taux réel d'infestation (fruits habités) (Pr2'). Ce dernier taux exclut les fruits vides abandonnés par certaines femelles fondatrices pour de nouveaux fruits et, par conséquent, donne une valeur plus exacte de l'infestation.

L'effet des différentes quantités de parasitoïdes répandues sur les populations de scolytes infestant les fruits résiduels est simplement mis en évidence par comparaison des taux réels d'infestation (analyse de variance, SAS).

La 2^e méthode

Selon les observations de Koch (1973), la femelle adulte de *C. stephanoderis* ne s'attaquerait qu'à une seule cerise infestée à l'intérieur de laquelle elle s'alimente et se reproduit. Il faut supposer, par ailleurs, que la première génération d'adultes issus des parasitoïdes lâchés, contribue à renforcer et à compléter l'action initiale. L'idée est donc de tester des quantités de parasitoïdes qui soient proportionnelles au nombre de fruits scolytés présents dans chaque parcelle⁽¹⁾. Il apparaît important de définir le type de fruits à prendre en compte. Considérant *C. stephanoderis* comme parasitoïde et prédateur, le choix porte sur les fruits perforés abritant au moins un scolyte vivant quel que soit son stade de développement.

Le niveau d'infestation initial est un paramètre de calcul. Il est défini par la moyenne des fruits attaqués par plante, présents sur tous les rameaux (x1) et la moyenne des fruits attaqués tombés au sol (y1), dans la zone occupée par la plante. L'aire de cette zone, en principe rectangulaire, est déterminée par les limites fic-

tives situées à mi-distance de la plante à échantillonner et des 4 plantes qui l'entourent.

Les moyennes des fruits attaqués définies précédemment, le pourcentage de ces fruits hébergeant des scolytes vivants P(x1) et P(y1) et le nombre de caféiers en production par parcelle (n), permettent d'estimer les quantités totales de fruits perforés par parcelle abritant des scolytes vivants (tableau 2). À partir de ces données calculées et des proportions de parasitoïdes à tester, il est possible d'estimer les quantités de parasitoïdes à répandre dans les différentes parcelles.

La moyenne initiale de scolytes (tous stades confondus) par plante (Mi) est estimée à partir des moyennes (x1) et (y1) et des moyennes du nombre d'individus vivants pour 100 fruits : (a) pour les rameaux et (b) pour le sol (tableau 2).

Le niveau d'infestation final est défini par la moyenne du nombre de fruits attaqués par plante (x2), au moment où se développe la nouvelle fructification.

La moyenne finale du nombre de scolytes (femelles fondatrices seulement) par plante (Mf) est estimée à partir de (x2) et de la moyenne du nombre de fondatrices pour 100 fruits (c).

Deux estimateurs supplémentaires sont évalués : il s'agit du taux d'attaque sur la nouvelle fructification (Pr2) et du taux réel d'infestation (Pr2'). Leur rôle, en tant qu'estimateurs principaux de la 1^{ère} méthode, est de tester les données de la 2^e méthode et de permettre ainsi la comparaison des 2 méthodes.

Les moyennes (Mi) et (Mf) sont dépendantes l'une de l'autre. Leur différence correspond approximativement à la moyenne du nombre de tous les individus disparus par migration ou mort naturelle ou éliminés par parasitisme et prédation (Dufour *et al.*, 1995). La migration et la mort naturelle étant considérées comme des facteurs relativement constants, seuls le parasitisme et la prédation constituent de véritables variables qui permettent d'expliquer les différences observées sur les moyennes (Mf). L'effet des lâchers est donc évalué par la comparaison des moyennes (Mf) auxquelles sont associées les moyennes (Mi) en tant que variables auxiliaires (analyse de covariance, SAS).

Echantillonnages

L'échantillonnage des scolytes constitue un problème difficile, compte tenu de la distribution des populations au champ qui est de type « agrégatif » (Decazy *et al.*,

1989 ; Rémond, 1992) et de la répartition au niveau de l'arbre qui semble dépendre de la localisation des fruits les plus mûrs (Borbón-Martinez, 1989).

Les méthodes d'échantillonnage des caféiers (tableau 2) ont été sélectionnées en fonction des résultats de recherche les plus récents sur l'estimation des niveaux d'infestation de scolytes (Rémond, 1992). Le mode stratifié utilisé dans la 1^{ère} méthode permet d'améliorer sensiblement la répartition des caféiers à échantillonner dans la parcelle, par rapport au mode aléatoire ou d'autres modes pour lesquels l'unité d'échantillonnage n'est pas l'arbre mais un groupe de caféiers côte à côte (Rémond, 1992). L'échantillonnage systématique présenté dans la 2^e méthode serait le plus performant puisqu'il ne fait pas intervenir l'expérimentateur dans la sélection des arbres à étudier (Rémond *et al.*, 1995).

Les méthodes appliquées pour l'échantillonnage des fruits infestés, restent plus classiques : aléatoires ou exhaustives (tableau 2). Avec une répartition souvent inégale des fruits perforés dans l'arbre, l'échantillonnage aléatoire peut introduire un biais avec une surestimation du taux de fruits attaqués (Rémond *et al.*, 1995). Cet inconvénient est minimisé ici, car l'étude porte non pas sur l'estimation de la valeur des taux mais sur leur comparaison.

Lâchers

La technique de lâchers consiste à déposer les parasitoïdes par groupes de 5 à 20 sur le feuillage et à les distribuer de la manière la plus homogène possible à l'intérieur de chaque parcelle. Chaque traitement compte plusieurs lâchers répartis sur une période d'un mois environ. Les quantités de parasitoïdes ne sont jamais définies à l'avance. Elles dépendent essentiellement du rythme et de l'ampleur de la production.

Résultats

1^{ère} méthode

Les conditions climatiques (figure 1) font apparaître une saison sèche très marquée de février jusqu'à avril, s'étendant non seulement aux sites expérimentaux mais aussi à toute la zone caféière centrale. Dans ces conditions climatiques très sévères, le cycle productif du caféier est interrompu et les scolytes sont condamnés à survivre dans les fruits résiduels, seule source alimentaire disponible.

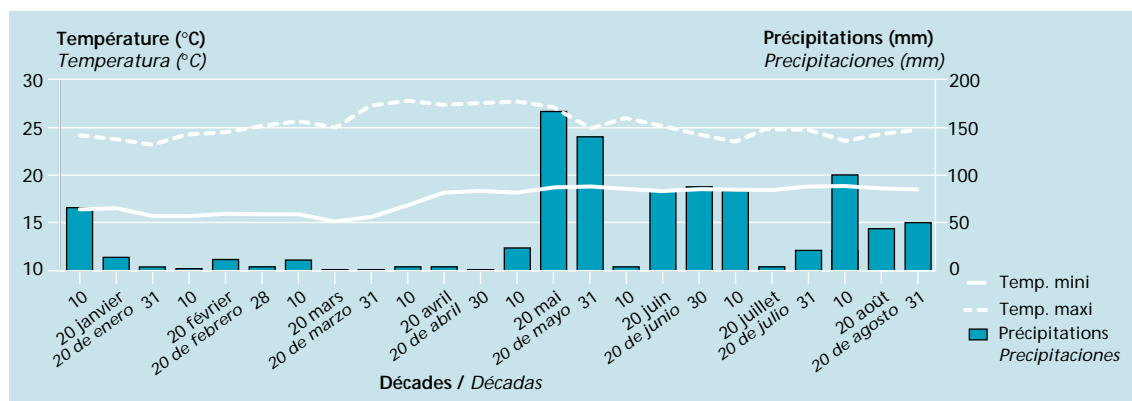
⁽¹⁾ Il convient de souligner qu'en théorie, la relation parasitoïdes/fruits infestés s'adresse exclusivement aux femelles de *C. stephanoderis*. Dans la pratique, l'utilisation de populations de parasitoïdes, constituées par les 2 sexes, introduit donc un biais dans la proportionnalité de cette relation.

Tableau 2. Echantillonnages et principales opérations. / *Muestreos y principales operaciones.*

		1 ^{re} méthode / 1 ^{er} método	2 ^e méthode / 2 ^o método
Avant les lâchers <i>Antes de las liberaciones</i>	Echantillonnages <i>Muestreos</i>	- Niveau d'infestation : éch. stratifié (25 fr.rm. + 75fr.sl./sous-parcelle) Total =2 000 fr./parcelle - <i>Nivel de infestación: mtr. estratificado</i> (25 fr.ba + 75 fr.sl./sub-parcela). Total 2 000 fr/parcela - Structure de population : éch. aléatoire (100 fr. p. rm. + 100 fr. p. sl./parcelle). - <i>Estructura de la población: mtr. aleatorio</i> (100 fr. p. ba. + 100 fr. p.sl./parcela).	- Niveau d'infestation : éch. systématique (exhaustif sur 20 plantes (rm. et sl.)/parcelle) - <i>Nivel de infestación : mtr. sistématico</i> (exhaustiva en 20 plantas (ba. y sl.)/parcela) - Structure de population : éch. aléatoire (100 fr. p. rm. + 100 fr. psl. /parcelle) - <i>Estructura de la población : mtr. aleatorio</i> (100 fr. p. ba. + 100 fr. p. sl. /parcela)
	Quantités de fruits avec scolytes vivants par parcelle <i>Cantidades de frutos con brocas vivas por parcela</i>		$[(x1 * Px1) + (y1 * Py1)] * n$
	Nombre de parasitoides lâchés <i>Número de parasitoides liberados</i>	- traitement 1 : 1 000 <i>tratamiento 1: 1 000</i> - traitement 2 : 5 000 <i>tratamiento 2: 5 000</i> - traitement 3 : 10 000 <i>tratamiento 3: 10 000</i>	- traitement 1 : 1 parasitoïde pour 4 fr. avec scolytes vivants - <i>tratamiento 1: 1 parasitoïde para 4 fr. con brocas vivas</i> - traitement 2 : 1 parasitoïde pour 5 fr. avec scolytes vivants - <i>tratamiento 2: 1 parasitoïde para 5 fr. con brocas vivas</i>
	Moyenne du nombre de scolytes par plante <i>Promedio del número de brocas por planta</i>		$Mi = \frac{(a * x1)}{100} + \frac{(b * y1)}{100}$
	Taux d'attaque (rameaux et sol) <i>Tasa de ataque(bandolas y suelo)</i>	Pr1 et Ps1	
5 mois après les lâchers <i>5 meses después de las liberaciones</i>	Echantillonnages <i>Muestreos</i>	- Niveau d'infestation : éch. stratifié (100 fr. rm. /sous-parcelle). Total =2 000 fr./parcelle - <i>Nivel de infestación: mtr. estratificado</i> (100 fr. ba./sub-parcela). Total =2 000 fr./parcela - Structure de population : éch. aléatoire (150 fr. p.rm./parcelle) - <i>Estructura de la población:mtr. aleatoria</i> (150 fr. p.ba./parcela)	- Niveau d'infestation : éch. systématique (exhaustif sur 40 plantes (rm.)/parcelle) - <i>Nivel de infestación: mtr. sistématico</i> (exhaustiva en 40 plantas (ba.)/parcela) - Structure de population : éch.aléatoire (150 fr. p. rm./parcelle) <i>Estructura de la población:mtr. aleatorio</i> (150 fr. p. ba./parcela)
	Moyenne du nombre de fondatrices par plante <i>Promedio del número de fundadoras por planta</i>		$Mf = \frac{(c * x2)}{100}$
	Taux d'attaque ou d'infestation (rameaux) <i>Tasa de ataque o de infestación (bandolas)</i>	Pr2 ou Pr2'	Pr2 ou Pr2'

éch. = échantillonnage, fr. = fruits, fr. p. = fruits perforés, rm. = rameaux, sl. = sol
mtr. = muestreo, fr = frutos, fr.p. = frutos perforados, ba = bandolas, sl. = suelo

* Estimateurs supplémentaires. Leur évaluation est faite à partir d'un échantillonnage stratifié (150 fr. rm./sous-parcelle). / * *Estimadores adicionales. Su evaluación se hace a partir de un muestreo estratificado (150 fr. re./subparcela).*



Niveaux d'infestation et structure des populations avant les lâchers

Les principaux critères pour que *C. stephanoderis* puisse s'établir et jouer son rôle de parasitoïde et de prédateur sont réunis dans toutes les parcelles : les taux d'infestation de scolytes sont élevés (figure 2), tous les stades de développement sont représentés (figure 3) et les populations pour 100 fruits (rameaux et sol) présentent des valeurs moyennes normales, avec des extrêmes allant de 214 à 1245 individus pour les échantillons prélevés au sol (tableau 3). Toutefois les quantités de fruits résiduels par parcelle ne sont pas connues. Elles peuvent varier d'une parcelle à l'autre en fonction de la qualité de la récolte sanitaire.

Comparaison des niveaux d'infestation, 5 mois après les lâchers

Le taux réel d'infestation (Pr2'), excluant les fruits perforés sans femelle fondatrice, est le paramètre qui semble représenter le mieux le niveau d'infestation de chaque

Tableau 3. Moyenne du nombre de scolytes pour 100 fruits attaqués sur la plante et au sol *. / Promedio del número de brocas para 100 frutos atacados en la planta y en el suelo*.

Moyenne du nombre « d'individus scolytes » pour 100 fruits * Promedio del número "de individuos brocas" para 100 frutos *			
Sites / Sitios	« la Soana »		« San Martin »
Traitement 1 Tratamiento 1	P1 R 993 ± 178 S 1 013 ± 148	P2 R 671 ± 150 S 1 013 ± 108	P3 R 675 ± 108 S 1 055 ± 164
Traitement 2 Tratamiento 2	P4 R 869 ± 110 S 420 ± 68	P5 R 964 ± 101 S 556 ± 93	P6 R 490 ± 126 S 214 ± 65
Traitement 3 Tratamiento 3	P7 R 976 ± 155 S 588 ± 155	P8 R 546 ± 93 S 610 ± 144	P9 R 794 ± 122 S 1245 ± 128
Témoin Testigo	P10 R 815 ± 173 S 511 ± 108	P11 R 409 ± 75 S 632 ± 158	P12 R 456 ± 89 S 799 ± 129

R = niveau « rameau », S = niveau « sol » / R = nivel «bandola», S = nivel «suelo»

* avec intervalle de confiance de 95 % / * con intervalo de confianza del 95%

parcelle (tableau 4). L'analyse de variance (avec un critère de classification) effectuée avec les valeurs des taux réels, transformées par la fonction ARC SIN $\sqrt{(\)}$ ne met en évidence aucune différence significative entre les différents traitements ($F = 0,68$) : $\alpha = 0,587$, avec 3 degrés de liberté.

2^e méthode

Les conditions climatiques sont très proches de celles observées lors de l'application de la première méthode. Leur influence sur la phénologie des caféiers et la dynamique des populations de scolytes peut donc être jugée équivalente dans les 2 es-

Figure 2.
Taux d'attaque initial du scolyte (avant les lâchers).
Tasa de ataque inicial de la broca (antes de los soltares).

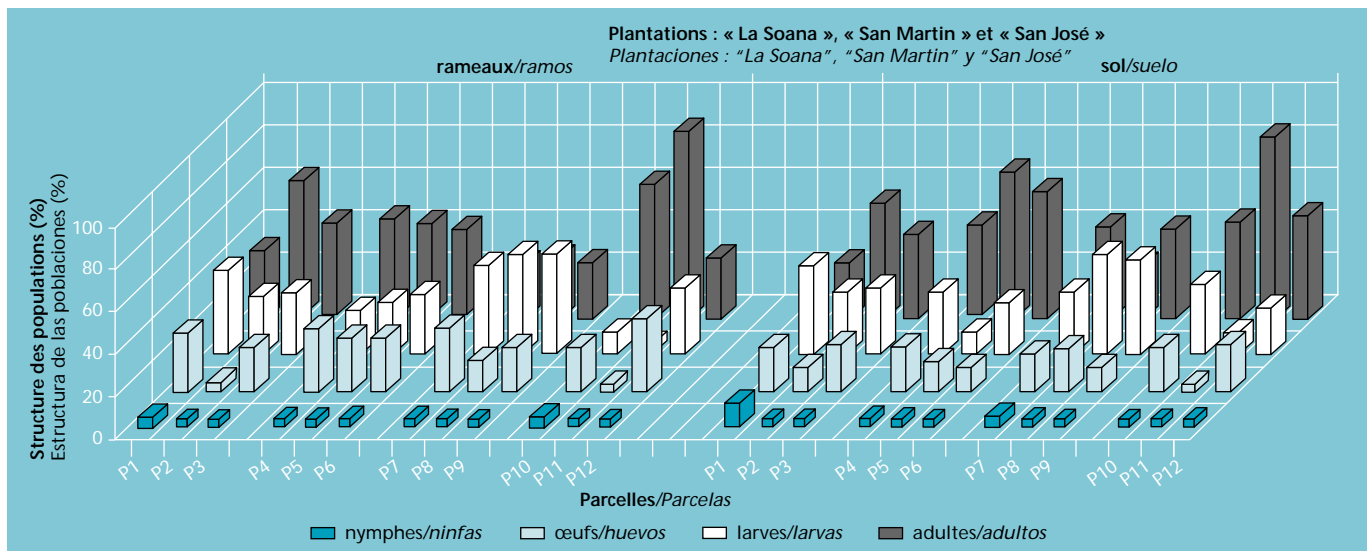
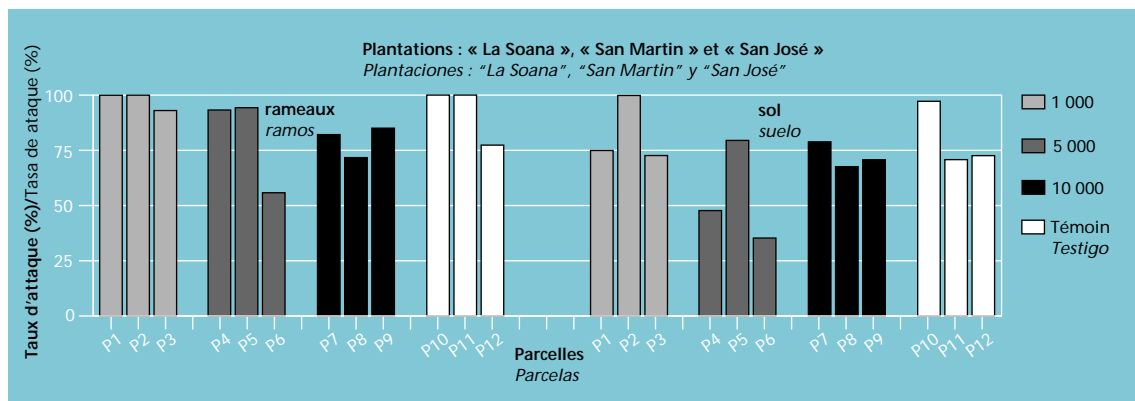


Figure 3. Structure des populations de scolytes (avant les lâchers). / Estructura de los poblaciones de brocas (antes de los soltares).

sais. On constate, en effet, que la structure des populations présente approximativement les mêmes proportions d'éléments avec toutefois quelques variations entre les niveaux « rameaux » et « sol » (figure 4). De telles similitudes se retrouvent aussi sur les moyennes d'individus vivants pour 100 fruits attaqués : les valeurs extrêmes oscillent entre 157 et 1130 pour les fruits récoltés au sol (tableau 5).

L'estimation des quantités de parasitoïdes à lâcher constitue l'originalité de la méthode. Elle est présentée dans le tableau 6.

Estimation des moyennes du nombre de fondatrices par plante et comparaison de ces moyennes en fonction des traitements

Les moyennes du nombre de fondatrices par plante (Mf) sont estimées à partir des valeurs de (x2) et de (c). Elles sont présen-

tées dans le tableau 7 avec les moyennes des nombres « d'individus-scolytes » par plante (Mi) observées avant les lâchers. Une analyse de covariance (avec 1 critère de classification) est effectuée sur les données originales de (Mf) après vérification de la normalité. Les traitements 1 et 2 sont équivalents et significativement efficaces par rapport au témoin ($F = 15,12$) : $\alpha = 0,008$ avec 2 degrés de liberté.

Tableau 4. Taux d'attaque et taux réel d'infestation.
Tasa de ataque y tasa efectiva de infestación.

Sites / Sitios	Taux d'attaque (%) <i>Tasa de ataque (%)</i>			Taux réel d'infestation (%) <i>Tasa efectiva de infestación (%)</i>		
	« la Soana »	« San Martín »	« San José »	« la Soana »	« San Martín »	« San José »
Traitement 1 <i>Tratamiento 1</i>	6,7	4,2	7,6	3,4	3,1	3,8
Traitement 2 <i>Tratamiento 2</i>	3,2	13,0	7,2	1,9	3,6	4,8
Traitement 3 <i>Tratamiento 3</i>	4,4	5,2	6,2	3,0	2,2	3,7
Témoin <i>Testigo</i>	13,7	4,0	10,9	8,3	2,4	4,3

Analyse des taux d'attaque évalués dans le cadre de la 2^e méthode

Les taux réels d'infestation sur la nouvelle fructification (Pr2'), obtenus dans les parcelles de « Santa Emilia » (tableau 8) sont soumis à une analyse de variance comme l'ont été ceux obtenus dans les 3 autres plantations ayant servi de site expérimental à la 1^{ère} méthode. L'analyse (avec un critère de classification) effectuée sur les taux transformés par la fonction $\text{ARC SIN } \sqrt{}$ ne met en évidence aucune différence significative ($F = 2,01$) : $\alpha = 0,215$, avec 2 degrés de liberté.

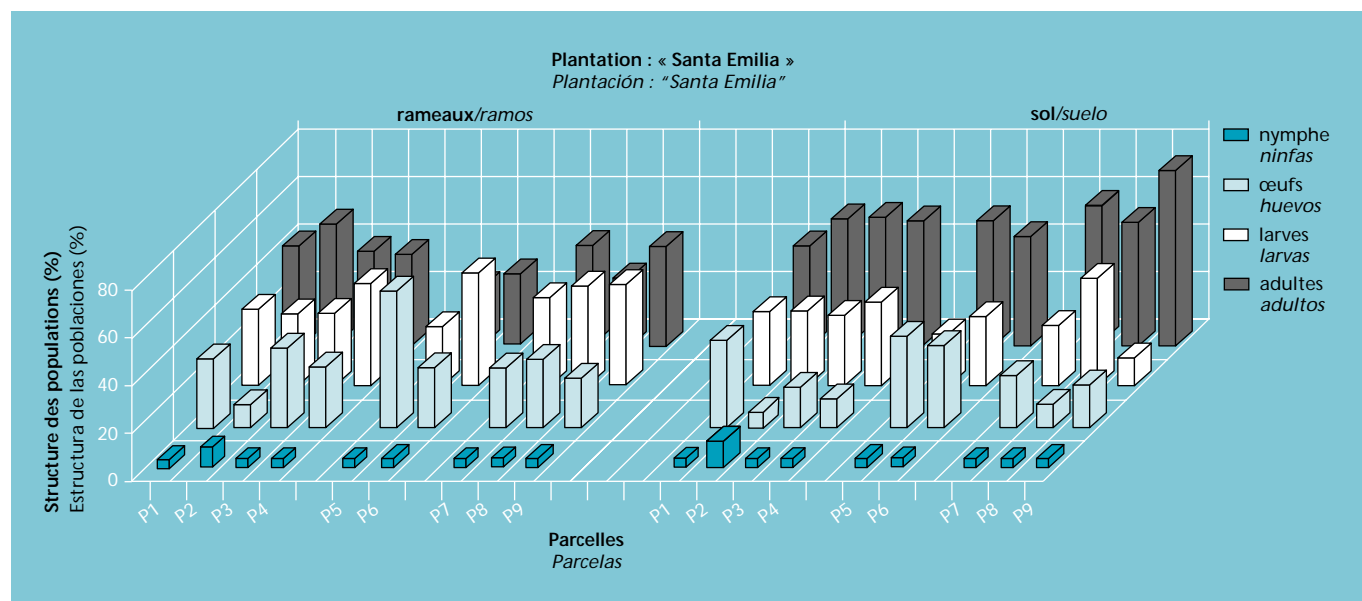


Figure 4. Structure des populations de scolytes (avant les lâchers) / Estructura de las poblaciones de brocas (antes de los soltares)

Tableau 5. Moyenne du nombre « d'individus-scolytes » vivants pour 100 fruits attaqués, avant les lâchers *.
Promedio del número "de individuos-brocas" vivos para 100 frutos atacados, antes de las liberaciones.

	Niveau / Nivel	Moyenne du nombre d'individus vivants pour 100 fruits (a) et (b) <i>Promedio del número de individuos vivos para 100 frutos (a) y (b)</i>			
		P1	P2	P3	P4
Traitement 1 <i>Tratamiento 1</i>	Rameaux / Bandolas	1 283 ± 172	646 ± 152	1 043 ± 145	1 104 ± 154
	Sol / Suelo	878 ± 154	764 ± 198	434 ± 121	182 ± 59
Traitement 2 <i>Tratamiento 2</i>	Rameaux / Bandolas	P5 680 ± 122	P6 1193 ± 168		
	Sol / Suelo	113 ± 172	547 ± 127		
Témoin <i>Testigo</i>	Rameaux / Bandolas	P7 1 453 ± 192	P8 1 311 ± 177	P9 832 ± 201	
	Sol / Suelo	382 ± 124	468 ± 157	157 ± 95	

* avec intervalle de confiance de 95 % / * con intervalo de confianza del 95%.

Tableau 6. Paramètres de calcul pour l'estimation des quantités de parasitoïdes à lâcher. / *Parametros de cálculo para estimar las cantidades de parasitoides por liberar.*

	Parcelles <i>Parcelas</i>	Moyenne des fruits perforés par plante* <i>Promedio de frutos perforados por planta*</i>		% fruits avec scolytes vivants <i>% frutos con brocas vivas</i>		Nombre de plantes (n) <i>Número de plantas (n)</i>	Estimation du nbre total de fruits avec scolytes vivants* <i>Estimación del número total de frutos con brocas vivas*</i>	Nbre de parasitoïdes à lâcher <i>Número de parasitoides por liberación</i>
		(x1)	(y1)	P(x1)	P(y1)			
Traitement 1 <i>Tratamiento 1</i>	P1	19,40 ± 10,2	116,85 ± 53,62	100	100	1 219	166 089 ± 69 236	41 522
(1:4)	P2	19,25 ± 9,78	79,65 ± 23,40	90	95	1 034	96 154 ± 29 107	24 038
	P3	9,05 ± 4,68	56,15 ± 16,54	100	99	1 206	77 954 ± 22 244	19 489
	P4	3,80 ± 1,58	31,55 ± 10,71	100	63	1 555	36 817 ± 10 706	8 204
Traitement 2 <i>Tratamiento 2</i>	P5	5,60 ± 2,43	72,45 ± 27,82	100	100	1 281	99 982 ± 37762	19 996
(1:5)	P6	5,75 ± 2,98	36,10 ± 14,19	99	100	2 071	86 552 ± 31 822	17 310
Témoin <i>Testigo</i>	P7	12,00 ± 7,65	138,15 ± 39,52	100	100	1 303	195 645 ± 52 127	
	P8	7,15 ± 1,85	40,30 ± 11,85	100	58	965	29 456 ± 7790	
	P9	6,60 ± 3,38	61,40 ± 18,76	92	33	1 052	27 703 ± 8204	

* avec intervalle de confiance de 95 %. / * con intervalo de confianza del 95%.

Tableau 7. Moyennes des populations initiales et finales de scolytes par plante. / *Promedios de las poblaciones iniciales y finales de brocas por planta.*

	Parcelles <i>Parcelas</i>	Moy. scolytes par plante av. l.* (Mi) <i>Promed. brocas por planta ant. lib. (Mi)</i>	Moy. fondatrices par plante ap. l.* (Mf) <i>Promed. fundadoras por planta después de lib. (Mf)</i>	Moy. fruits perforés par plante (x2)** <i>Promed. frutos perforados por planta (x2)**</i>	Moy. fondatrices pour 100 fruits (c) ** <i>Promed. fundadoras para 100 frutos (c) **</i>
Traitement 1 <i>Tratamiento</i>	P1	1 275	64	69,1 ± 23,9	92 ± 4
	P2	733	40	43,5 ± 21,9	91 ± 5
	P3	338	16	18,0 ± 11,6	91 ± 6
	P4	99	26	27,3 ± 10,2	97 ± 3
Traitement 2 <i>Tratamiento 2</i>	P5	857	20	22,2 ± 11,4	88 ± 7
	P6	266	21	21,9 ± 6,3	97 ± 3
Témoin <i>Testigo</i>	P7	702	79	82,7 ± 31,2	95 ± 4
	P8	282	53	54,4 ± 23,7	97 ± 9
	P9	145	67	69,1 ± 38,6	97 ± 3

* moy. = moyenne, av. l. = avant les lâchers, ap. l. = 5 mois après les premiers lâchers / * *promed. = promedio, ant lib. = antes de liberaciones, desp. lib. = 5 meses después de las primeras liberaciones*

** avec intervalle de confiance de 95 % / ** con intervalo de confianza del 95%

Discussion et conclusion

Les deux méthodes proposées pour évaluer l'effet des lâchers inondatifs sur les populations de scolytes ont le même objectif : lutter contre les populations résiduelles de ce ravageur durant la saison sèche afin de réduire le nombre de femelles fondatrices responsables des futures infestations et, par conséquent, diminuer les pertes de récolte qu'elles provoquent. Ces méthodes ont été mises en place dans des conditions climatiques et agroécologiques quasi semblables. D'importantes similitudes ont été observées sur la structure des populations et le niveau d'infestation des fruits au début de chaque expérimentation. C'est donc dans un cadre expérimental relativement homogène que cette étude comparative a pu se réaliser.

Tableau 8. Taux d'attaque et taux réel d'infestation.
Tasa de ataque y tasa efectiva de infestación.

	Parcelles <i>Parcelas</i>	Taux d'attaque (%) <i>Tasa de ataque (%)</i>	Taux réel d'infestation <i>Tasa efectiva de infestación</i>
Traitement 1 <i>Tratamiento</i>	P1	23,6	21,7
	P2	12,1	11
	P3	7,5	6,7
	P4	12	11,6
Traitement 2 <i>Tratamiento</i>	P5	7	5,9
	P6	8,6	8,3
Témoin <i>Testigo</i>	P7	27,8	26,3
	P8	11	9,9
	P9	19,6	19,1

Pour la 1^{ère} méthode, on constate que la détermination des quantités de parasitoïdes libérés est arbitraire. Elle ne tient pas compte du nombre de fruits résiduels présents dans les parcelles. D'autre part,

les estimateurs qui définissent le niveau d'infestation final sur la plante sont le taux d'attaque et, plus exactement, le taux réel d'infestation. Ils ne donnent en réalité qu'une évaluation de l'importance des po-

pulations de scolytes par rapport à la production totale de fruits par parcelle. Il convient, par ailleurs, de rappeler que l'échantillonnage aléatoire, qui permet de définir leur valeur, est supposé engendrer un biais dans le sens d'une surévaluation (Rémond *et al.*, 1995).

Avec cette méthode on ne connaît finalement pas la raison de l'apparente inefficacité des traitements. S'agit-il d'une insuffisance de parasitoïdes par rapport à la masse de fruits attaqués ou bien de l'imprécision des estimateurs employés, en l'occurrence le taux réel d'infestation ? On peut penser que les 2 facteurs sont impliqués.

La 2^e méthode est nettement plus élaborée : d'une part elle est fondée sur la réalité bioécologique du scolyte en période de post-récolte, d'autre part elle utilise des estimateurs plus précis qui sont des moyennes par arbre. Parmi les principaux estimateurs, Mi et Mf dont on a montré la relation de dépendance, semblent bien décrire l'aspect quantitatif des populations de scolytes initiales et finales. Un autre, tel que la moyenne du nombre de fruits ré-

siduels infestés par plante, permettant de calculer les quantités de parasitoïdes à lâcher, a été choisi par rapport aux capacités d'attaque de *C. stephanoderis*. De nouveaux estimateurs pourraient être testés : par exemple la moyenne du nombre de fruits par plante contenant au moins un stade immature. On donnerait, dans ce cas, plus d'importance au comportement parasitaire qu'à l'activité prédatrice du parasitoïde.

Cette méthode met en évidence un effet sensible des lâchers sur les populations de scolytes, pour des proportions parasitoïdes-fruits infestés de 1:4 et de 1:5. Pour ces mêmes proportions, aucun effet n'est perçu lorsqu'on utilise le taux d'infestation comme estimateur (tableau 8). Le taux d'infestation est donc très imprécis et, par conséquent, condamne la 1^{ère} méthode. Maintenant, il serait intéressant de savoir si la 2^e méthode est capable de détecter une action dépressive sur les populations de scolytes pour des lâchers effectués avec des proportions plus faibles de parasitoïdes ? Et que se passerait-il avec des pro-

portions plus élevées. Ces aspects devront être étudiés ultérieurement.

Il serait important, par ailleurs, de vérifier le rôle de certains facteurs sur l'efficacité de la méthode : par exemple le comportement d'attaque de *C. stephanoderis* est-il le même au sol que sur la plante ? Quelques observations effectuées durant la réalisation de cet essai tendraient à montrer que le parasitoïde préfère pénétrer dans les fruits infestés présents sur la plante. L'existence d'interactions entre parasitoïdes partageant le même territoire a déjà été évoquée (Dufour *et al.*, 1995). Il serait peut-être important d'en mesurer l'ampleur et de voir si un meilleur fractionnement des lâchers pourrait en diminuer l'effet. Enfin, une autre question demeure : quelles sont les chances de survie des parasitoïdes après leur mise en liberté ? On a souvent constaté de nombreux cas de mortalité lors du transport de ces insectes de leur centre de production vers les sites de lâchers. Il est donc possible qu'une fraction de ces populations s'éteigne avant de jouer leur rôle de parasitoïde ou de prédateur. ■

Bibliographie / Bibliografía

- BARRERA GAYTAN J.F., 1994. Dynamique des populations du scolyte des fruits du caféier, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera : Scolytidae), et lutte biologique avec le parasitoïde *Cephalonomia stephanoderis* (Hymenoptera : Bethyridae), au Chiapas, Mexique. Thèse de doctorat, université Paul Sabatier, Toulouse, France, 301 p.
- BORRON-MARTINEZ O., 1989. Bioécologie d'un ravageur des baies de caféier, *Hypothenemus hampei* Ferr. (Coleoptera : Scolytidae) et de ses parasitoïdes au Togo. Thèse de doctorat, université Paul Sabatier, Toulouse, France, 185 p.
- DECAZY B., OCHOA H., LOTODÉ R., 1989. Indices de distribution spatiale et méthode d'échantillonnage des populations du scolyte des drupes du caféier, *Hypothenemus hampei* Ferr. Café Cacao Thé 33 (1) : 27-41.
- DUFOUR B., CALDERON S., BERNADETTE L., ARAGON F., 1994. Control biológico de la broca del café con *Cephalonomia stephanoderis* Betrem. 1. - Eficacia en periodo de post-cosecha en función de la cantidad liberada. In : Informe final sobre las actividades de entomología del café de febrero 1991 a noviembre 1994, Managua, Nicaragua, PROMECAFE, 11 p. (document interne).
- DUFOUR B., CALDERON S., BERNADETTE L., ARAGON F., 1995. Control biológico de la broca del café con *Cephalonomia stephanoderis* Betrem. 3. Eficacia en periódico de post-cosecha en función de la cantidad relativa liberada. In : Memoria XVII simposio sobre caficultura latinoamericana, San Salvador, Salvador, 23-27 octobre 1995. Tegucigalpa, Honduras, IICA/PROMECAFE, 2, 13 p.
- INFANTE F., MUÑOZ R., GARCIA A., VEGA M., 1992. Quinto y sexto informes técnicos del proyecto "Investigaciones referentes al control biológico de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari), mediante la utilización de parasitoïdes de origen africano". Tapachula, Chiapas, Mexique, CIES/IHCAFE/ANACAFE/PROCAFE, 69 p. (document interne).
- KOCH V. J.M., 1973. Abundance d'*Hypothenemus hampei* Ferr., scolyte des graines de café, en fonction de sa plante-hôte et de son parasite *Cephalonomia stephanoderis* Betrem, en Côte d'Ivoire. Meded. Landbouwhogesh. Wageningen (73-16), 85 p.
- RÉMOND F., 1992. Contribution à la mise au point d'une technique d'échantillonnage pour estimer les attaques des baies du caféier par les scolytes (*Hypothenemus hampei* Ferr.). Mémoire de DEA, Ecole nationale supérieure agronomique, Montpellier, France, 56 p.
- RÉMOND F., CILAS C., DUFOUR B., BERNADETTE L., DECAZY B., 1995. Comparaison de méthodes d'échantillonnage du scolyte du fruit du caféier (*Hypothenemus hampei* Ferr.). In : XVI^e colloque scientifique international sur le café, Kyoto, Japon. Paris, France, ASIC, vol. 2, p. 645-654.

Control biológico de la broca del cafeto en período de post-cosecha: métodos de evaluación

Dufour B.¹, Calderon S.² Bernadette L.³, Aragon F.⁴

¹ CIRAD-CP/IICA-PROMECAFE/PROCAFE, Final 1a Avenida Norte Apdo 23, Santa Tecla, Salvador

² MIP-CATIE, Apdo, 4830, Managua, Nicaragua

³ 31, rue A. de Musset, 81200 Aussillon, Francia

⁴ UNICAFE, CECF, Masatepe, Nicaragua

Después de varios años de investigación sobre el control biológico de la broca del cafeto con el parasitoide de origen africano : *Cephalonomia stephanoderis* Betrem, se ha demostrado que las liberaciones inoculativas de este parasitoide, en la mayoría de los países productores de café de Centroamérica, resultaban totalmente ineficaces, no permitiendo sino una mera supervivencia de la especie en su nuevo medio ambiente (Anon., 1992). En cambio, las liberaciones inundativas parecen asegurar cierto nivel de control de las poblaciones de brocas, con una eficacia que aún no se ha definido de manera precisa. Para el caficultor, las cantidades a liberar y la eficacia que tiene por resultado son datos indispensables para juzgar del interés y del proseguimiento de este tipo de acción, por lo menos en su desarrollo tecnológico actual. La primera experiencia conocida menciona reducciones de infestaciones de brocas que oscila entre el 22 y el 56 % para liberaciones de 35.000 a 40.000 parasitoides por ha (Barrera Gaytan, 1994). Por otro lado, en jóvenes fructificaciones, se ha logrado una baja de infestación del 53 %, como promedio, 5 meses después de haber realizado liberaciones de parasitoides a razón de un adulto para 4 a 5 frutos atacados. Es conveniente aclarar que este último resultado fue logrado mediante el segundo método descrito en este estudio (Dufour *et al.*, 1995). Por lo demás, se trata principalmente de resultados de observaciones cuya interpretación depende muchas veces del interés que manifiestan los protagonistas del control biológico y los utilizadores de entomófagos.

Este trabajo, realizado en el marco de un programa de investigación sobre el control biológico con *C. stephanoderis*, abarca la comparación de 2 métodos de evaluación del efecto de las liberaciones inundativas sobre poblaciones de brocas, en período de inter-fructificación. La selección de este período se justifica por la presencia de poblaciones residuales de brocas, normalmente reducidas bajo el efecto de la cosecha, y que se posibilita combatir con cantidades de parasitoides también tan reducidas (Dufour *et al.*, 1995). Resulta conveniente aclarar además, que las poblaciones presentan por lo general una estructura

adecuada para el parasitismo, y que al nivel de la estrategia del control, es preferible intervenir antes de que la broca no migre hacia las nuevas fructificaciones, en las cuales ocasionaría daños. La principal dificultad es alcanzar una precisión suficiente en la evaluación de la eficacia sabiendo que no se realiza directamente en las poblaciones residuales de brocas, pero en las poblaciones de fundadoras, en el momento de la colonización de los nuevos frutos.

Material y métodos

Condiciones experimentales

Se experimentaron los 2 métodos durante 2 años consecutivos, en 4 plantaciones de café ubicadas en la región de Matagalpa en Nicaragua: "La Soana", "San Martín" y "San José" en 1993 (Dufour *et al.*, 1994) para el primer método, "Santa Emilia" en 1994 para el segundo (Dufour *et al.*, 1995). Registró los datos climatológicos la estación meteorológica de Jinotega, ubicada a más de 20 km de los sitios experimentales. Constan en el cuadro 1 las condiciones agroecológicas y los diseños experimentales.

Producción de *C. stephanoderis*

Para asegurar liberaciones regulares sobre un período limitado en el tiempo, se reforzaron las crías de *C. stephanoderis*, notadamente en caso de ejecutar el 2° método. Los parasitoides recolectados después de su emergencia (foto 1), se reagrupan por lotes de 100, en tubos de vidrio cuyo orificio está tapado con un tul de malla fina (foto 2). Estos insectos se alimentan entonces con una mezcla de miel y de agua aplicada en el tul, esperando su dispersión en las parcelas experimentales.

Métodos de control

El 1° método

La hipótesis de inicio corresponde a la idea expresada por los primeros utilizadores del control biológico con *C. stephanoderis*: pueden reducir sensiblemente las poblaciones residuales de brocas las liberaciones masivas de parasitoides, merced al efecto conjugado de actividades para-

sitarias y de depredación, independientemente de su nivel de infestación, con una intensidad más o menos proporcional a las cantidades iniciales de parasitoides.

El nivel de infestación inicial es un parámetro descriptivo. Determina tan sólo la factibilidad del ensayo. Está definido por el porcentaje de frutos residuales atacados por brocas presentes en los cafetos (Pr1) y el porcentaje en el suelo (Ps1). La estructura de las poblaciones iniciales de brocas es también un parámetro descriptivo que permite determinar el promedio de brocas para 100 frutos y la proporción de las diferentes fases de desarrollo. Se representa el nivel de infestación final ya sea mediante la tasa de ataque (frutos perforados) en la nueva fructificación (Pr2), ya sea mediante la tasa efectiva de infestación (frutos habilitados) (Pr2'). Esta última tasa excluye los frutos vacíos abandonados por ciertas hembras fundadoras para nuevos frutos y, por consiguiente, da un valor más exacto de la infestación.

Se evidencia meramente el efecto de las distintas cantidades de parasitoides esparcidas en las poblaciones de brocas que infestan los frutos residuales al comparar las tasas efectivas de infestación (análisis de variancia, SAS).

El 2° método

Acorde a las observaciones de Koch (1973), la hembra adulta de *C. stephanoderis* no atacaría más que una sola cereza infestada dentro de la cual se alimenta y se reproduce. Por otro lado, hay que suponer que la primera generación de adultos oriundos de los parasitoides liberados, contribuye a reforzar y a completar la acción inicial. La idea es pues someter a prueba cantidades de parasitoides que sean proporcionales al número de frutos con brocas presentes en cada parcela⁽¹⁾. Resulta importante definir el tipo de frutos por tomar en cuenta. Considerando *C. stephanoderis* como parasitoide y depredador, la selección abar-

⁽¹⁾ Es conveniente subrayar que en teoría, la relación parasitoides/frutos infestados se dirige exclusivamente a las hembras de *C. stephanoderis*. En la práctica, el uso de poblaciones de parasitoides constituidas por los 2 sexos introduce pues una desviación en la proporcionalidad de esta relación.

ca los frutos perforados que albergan por lo menos una broca viva cualquiera que sea su estado de desarrollo.

El nivel de infestación inicial es un parámetro de cálculo. Se define mediante el promedio de los frutos atacados por planta, presentes en todas las bandolas (x_1) y el promedio de los frutos atacados caídos en el suelo (y_1), en la zona ocupada por la planta. El área de esta zona, en principio rectangular, se determina por los límites ficticios situados a medio camino de la planta por muestrear y de las 4 plantas que la rodean.

Los promedios de los frutos atacados definidos previamente, el porcentaje de estos frutos que albergan brocas vivas $P(x_1)$ y $P(y_1)$ y el número de cafetos en producción por parcela (n), permiten estimar las cantidades totales de frutos perforados por parcela que amparan brocas vivas (cuadro 2). A partir de estos datos calculados y de las proporciones de parasitoides por someter a prueba, se posibilita evaluar las cantidades de parasitoides a esparcir en las distintas parcelas.

Se evalúa el promedio inicial de brocas (todas las fases confundidas) por planta (M_i) a partir de los promedios (x_1) y (y_1) y de los promedios del número de individuos vivos para 100 frutos: (a) para las bandolas y (b) para el suelo (cuadro 2).

Se define el nivel de infestación final mediante el promedio del número de frutos atacados por planta (x_2), en el momento en que se desarrolla la nueva fructificación.

Se evalúa el promedio final del número de brocas (hembras fundadoras solamente) por planta (M_f) a partir de (x_2) y del promedio del número de fundadoras para 100 frutos (c).

Se evalúan dos estimadores adicionales: se trata de la tasa de ataque en la nueva fructificación (Pr_2) y de la tasa efectiva de infestación (Pr_2'). Su papel, de estimadores principales del 1er método, es someter a prueba los datos del 2º método y permitir asimismo la comparación de los 2 métodos.

Los promedios (M_i) y (M_f) dependen uno de otro. Su diferencia corresponde aproximadamente al promedio del número de todos los individuos desaparecidos por migración o muerte natural o eliminados por parasitismo y depredación (Dufour *et al.*, 1995). La migración y la muerte natural siendo consideradas como factores relativamente constantes, únicamente el parasitismo y la depredación constituyen verdaderas variables que permiten explicitar las diferencias observadas en los promedios (M_f). El efecto de las liberaciones se evalúa por lo tanto mediante la comparación de los promedios (M_f) a los cuales se asocian los promedios (M_i) como variables auxiliares (análisis de covarianza, SAS).

Muestreos

El muestreo de las brocas constituye un problema difícil, habida cuenta de la distribución de

las poblaciones en el campo que es de tipo "agregativo" (Decazy *et al.*, 1989; Rémond, 1992) y de la distribución al nivel del árbol que parece depender de la localización de los frutos más maduros (Borbón-Martínez, 1989).

Se seleccionaron los métodos de muestreo de los cafetos (cuadro 2) acorde a los resultados de investigación más recientes sobre la estimación de los niveles de infestación de brocas (Rémond, 1992). El modo estratificado utilizado en el 1er método permite mejorar sensiblemente la distribución de los cafetos a muestrear en la parcela, en comparación con el modo aleatorio u otros modos para los cuales la unidad de muestreo no es el árbol pero un grupo de cafetos al lado uno de otro (Rémond, 1992). El muestreo sistemático presentado en el 2º método sería el que da más resultados dado que no manda intervenir al experimentador en la selección de los árboles por estudiar (Rémond *et al.*, 1995).

Los métodos aplicados para el muestreo de los frutos infestados, siguen siendo clásicos: aleatorios o exhaustivos (cuadro 2). Con una distribución a menudo desigual de los frutos perforados en el árbol, el muestreo aleatorio puede introducir un desvío con una sobre-estimación de la tasa de frutos atacados (Rémond *et al.*, 1995). Se quita importancia a este inconveniente aquí, dado que el estudio abarca no la estimación del valor de las tasas pero su comparación.

Liberaciones

La técnica de liberaciones consiste en depositar los parasitoides por grupos de 5 a 20 en el follaje y en distribuirlos de la manera más homogénea posible dentro de cada parcela. Cada tratamiento cuenta varias liberaciones distribuidas en un período de aproximadamente un mes. Las cantidades de parasitoides no se definen nunca de antemano. Dependen esencialmente del ritmo y de la importancia de la producción.

Resultados

1º método

Las condiciones climáticas (figura 1) hacen aparecer una temporada seca muy pronunciada desde febrero hasta abril, que cubre no solamente los sitios experimentales pero también toda la zona cafetera central. Con estas condiciones climáticas muy severas, el ciclo productivo del café se interrumpe y las brocas están condenadas a sobrevivir en los frutos residuales, única fuente de alimentación disponible.

Niveles de infestación y estructura de las poblaciones antes de las liberaciones

Se hallan reunidos los principales criterios para que *C. stephanoderis* pueda establecerse y desempeñar su papel de parasitoide y de depredador en todas las parcelas: las tasas de infestación de bro-

cas son altas (figura 2), se representan todas las fases de desarrollo (figura 3) y las poblaciones para 100 frutos (bandolas y suelo) presentan valores medios normales, con extremos yendo desde 214 hasta 1 245 individuos para las muestras tomadas en el suelo (cuadro 3). No obstante, no se conocen las cantidades de frutos residuales por parcela. Pueden variar de una parcela a otra acorde a la calidad de la cosecha sanitaria.

Comparación de los niveles de infestación, 5 meses después de las liberaciones

La tasa efectiva de infestación (Pr_2'), que excluye los frutos perforados sin hembra fundadora, es el parámetro que parece mejor representar el nivel de infestación de cada parcela (cuadro 4). El análisis de variancia (con un criterio de clasificación) realizado con los valores de las tasas efectivas, transformadas por la función $ARC\ SIN\ \sqrt{(\)}$ no evidencia ninguna diferencia significativa entre los distintos tratamientos ($F = 0,68$): $\alpha = 0,587$, con 3 grados de libertad.

2º método

Las condiciones climáticas son muy parecidas a las observadas cuando la aplicación del primer método. Por lo tanto se puede juzgar equivalente su influencia sobre la fenología de los cafetos y la dinámica de las poblaciones de brocas en los 2 ensayos. En efecto, se anota que la estructura de las poblaciones presenta aproximadamente las mismas proporciones de elementos con, sin embargo, algunas variaciones entre los niveles "bandolas" y "suelo" (figura 4). Tales similitudes se vuelven a encontrar también en los promedios de individuos vivos para 100 frutos atacados: los valores extremos oscilan entre 157 y 1130 para los frutos recogidos en el suelo (cuadro 5).

La estimación de las cantidades de parasitoides por liberar constituye la originalidad del método. Consta en el cuadro 6.

Estimación de los promedios del número de fundadoras por planta y comparación de estos promedios acorde a los tratamientos

Se estiman los promedios del número de fundadoras por planta (M_f) a partir de los valores de (x_2) y de (c). Constan en el cuadro 7 con los promedios de los números "de individuos-brocas" por planta (M_i) observados antes de las liberaciones. Un análisis de covarianza (con 1 criterio de clasificación) se realiza sobre los datos originales de (M_f) después de verificar su normalidad. Los tratamientos 1 y 2 son equivalentes y significativamente eficaces en comparación con el testigo ($F = 15,12$): $a = 0,008$ con 2 grados de libertad.

Análisis de las tasas de ataque evaluadas en el marco del 2º método
Se someten las tasas efectivas de infestación sobre la nueva fructificación (Pr_2'), logradas en las par-

celas de "Santa Emilia" (cuadro 8) a un análisis de variancia como lo fueron aquellas logradas en las 3 otras plantaciones que hicieron de sitio experimental para el 1er método. No evidencia el análisis (con un criterio de clasificación) realizado sobre las tasas transformadas por la función $\text{ARC SIN } \sqrt{()}$ ninguna diferencia significativa ($F = 2,01$): $\alpha = 0,215$, con 2 grados de libertad.

Discusión y conclusión

Los 2 métodos propuestos para evaluar el efecto de las liberaciones inundativas en las poblaciones de brocas tienen el mismo objetivo: controlar las poblaciones residuales de esta plaga durante la temporada seca para reducir el número de hembras fundadoras responsables de las futuras infestaciones y por consiguiente, disminuir las pérdidas de cosecha que ocasionan. Se implantaron estos métodos en condiciones climáticas y agroecológicas casi parecidas. Se observaron fuertes similitudes en la estructura de las poblaciones y el nivel de infestación de los frutos al principio de cada experimentación. Fue pues en un marco experimental relativamente homogéneo que pudo realizarse este estudio comparativo.

Para el 1° método, se nota que la determinación de las cantidades de parasitoides liberados es arbitraria. No toma en cuenta el número de frutos residuales presentes en las parcelas. Por otro lado, los estimadores que definen el nivel de infestación final en la planta son la tasa de ataque y, más exactamente, la tasa efectiva de infestación. En realidad, no dan sino una evaluación de la importancia de las poblaciones de brocas en comparación con la producción total de frutos por parcela. Es conveniente, además, re-

cordar que el muestreo aleatorio, que permite definir su valor, es supuesto engendrar una desviación en el sentido de una sobre-evaluación (Rémond *et al.*, 1995).

Con este método, no se conoce finalmente la razón de la aparente ineficacia de los tratamientos. ¿Es que se trata de una insuficiencia de parasitoides en comparación con la masa de frutos atacados o bien de la poca precisión de los estimadores empleados, en la ocurrencia la tasa efectiva de infestación? Se puede pensar que los 2 factores se hallan implicados.

El 2° método resulta nítidamente más elaborado: por un lado se funda en la realidad biológica de la broca en temporada de post-cosecha, por otra parte utiliza estimadores más precisos que son promedios por árbol. Entre los principales estimadores, Mi y Mf cuya relación de dependencia se señaló, parecen describir claramente el aspecto cuantitativo de las poblaciones de brocas iniciales y finales. Otro, como lo es el promedio del número de frutos residuales infestados por planta, que permite calcular las cantidades de parasitoides por liberar, fue seleccionado respecto a las capacidades de ataque de *C. stephanoderis*. Podrían someterse a prueba nuevos estimadores: por ejemplo el promedio del número de frutos por planta que contienen por lo menos una fase inmadura. En este caso, se le daría más importancia al comportamiento parasitario que a la actividad de depredación del parasitoide.

Este método evidencia un efecto sensible de las liberaciones en las poblaciones de brocas, para proporciones parasitoides-frutos infestados de 1:4 y de 1:5. Para estas mismas propor-

ciones, no se percibe ningún efecto cuando se utiliza la tasa de infestación como estimador (cuadro 8). La tasa de infestación resulta por lo tanto muy imprecisa y por consiguiente condena el 1° método. ¿Ahora, resultaría interesante saber si el 2° método es capaz de detectar una acción depresiva sobre las poblaciones de brocas para liberaciones realizadas con proporciones más reducidas de parasitoides? ¿Y que es lo que pasaría con proporciones más altas? Estos aspectos tendrán que estudiarse ulteriormente.

Por otro lado, resultaría importante verificar el papel de ciertos factores sobre la eficacia del método: por ejemplo ¿es el mismo el comportamiento de ataque de *C. stephanoderis* en el suelo que en la planta? Algunas observaciones realizadas durante la realización de este ensayo tenderían a mostrar que el parasitoide prefiere penetrar en los frutos infestados presentes en la planta. Se mencionó ya la existencia de interacciones entre parasitoides que comparten el mismo territorio (Dufour *et al.*, 1995). Tal vez tendría importancia medir su amplitud y ver si un mejor fraccionamiento de las liberaciones podría disminuir su efecto. Por último, otra cuestión permanece: ¿cuales son las probabilidades de supervivencia de los parasitoides después de su puesta en libertad? A menudo se han observado numerosos casos de mortalidad al transportar estos insectos desde su centro de producción hacia los sitios de liberaciones. Por lo tanto, resulta posible que una fracción de estas poblaciones se apague antes de desempeñar su papel de parasitoide o de depredador. ■